

## II-24 融雪水の積雪内鉛直浸透に関する実験的研究

石川工業高等専門学校 正会員 ○畑 時男  
 金沢大学工学部 正会員 高瀬 信忠

### 1. はじめに

積雪内における融雪水の移動は流出特性に大きな影響を与えるのであるが、本報告では均質なざらめ雪を対象に鉛直浸透の実験を行ない、積雪の浸透特性に若干の考察を加えるとともに、Colbeck のモデルを用いてその機構についても若干の検討を加えたものである。

### 2. 積雪内における不飽和鉛直浸透

Colbeck は積雪内における融雪水の不飽和鉛直浸透流にDarcy 則を適用し、さらに含水率が小さい時以外は圧力項を無視できるとして、次式で流下フラックス  $u$  を与えた。

$$u = \rho_w g \mu_w^{-1} k_w \quad (1), \quad k_w = k S_e^n \quad (2)$$

ここで、 $\rho_w$  は水の密度、 $\mu_w$  は水の粘性係数、 $k_w$  は水の不飽和透水係数、 $S_e$  は有効飽和度、 $k$  は固有透水係数であるが、Colbeck は式 (2) の指数  $n$  を 3 とし、式 (1) を連続方程式に代入して得られる基礎式の特性曲線の勾配を次式で与えている。

$$dz/dt \Big|_u = n \alpha \frac{1}{n} k \frac{1}{n} \phi_e^{-1} u \frac{n-1}{n} \quad (3)$$

ここで、 $z$  は鉛直下向きの座標、 $\phi_e$  は有効空隙率、 $\alpha = \rho_w g \mu_w^{-1}$  である。<sup>1)</sup>

### 3. 実験方法

実験は二重断熱構造の実験装置内に静置された円筒サンプラー（直径108mm, 長さ500mm）内積雪サンプルに、0°Cに保持された水を流入させて行なったが、実験継続中の恒温室内の温度は0°Cに保たれる。またサンプルについては採取後恒温室内に1時間直立させ、さらに実験の前後に密度、含水率、粒径を測定した。<sup>2)</sup> 図-1に実験のフローを示すが、この実験は3つのケースの流入条件によって行なわれた。ケースAは流入強度を変化させて行ない、ケースBは流入時間を変化させたものであるが、ケースCは図-9のように全体として三角波形を持つ流入を与え、ピーク流入強度の異なる3例について実験を行なったものである。

### 4. 実験結果と考察

#### (1) 流入継続時間の流出への影響

図-2はケースB（流入強度  $q_i = 3.6 \times 10^{-6}$  m/sec）の実験結果を示すものであるが、B-1, 2を除いてほぼ同一の立ち上がり方を有している。一方、B-1の場合は継続時間が短く、流出強度は流入強度と比較してかなり小さく、また立ち上がり時刻もかなり遅いようである。

#### (2) 減衰特性

図-3, 4はケースA, Bについて、その減衰部を明示したものであるが、流入強度が小さくなるにつれて減衰が遅くなる。一方、流入強度が同一であればほぼ同様な減衰を示している。

#### (3) 浸潤前線の進行速度、

ピーク伝播速度と流入強度の関係

図-5はケースAおよびBの実験結果をもとに、浸潤前線の進行速度と流入強度の関係をプロットしたものである。この場合、初期

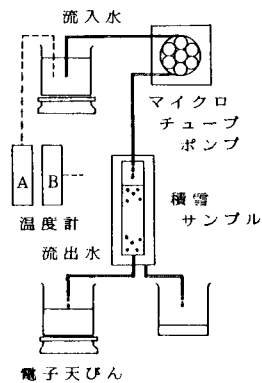


図-1 実験のフロー

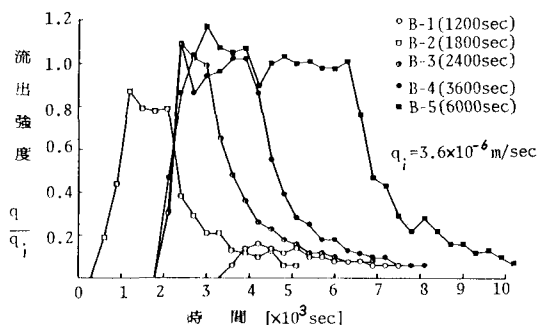


図-2 流出強度と継続時間の関係

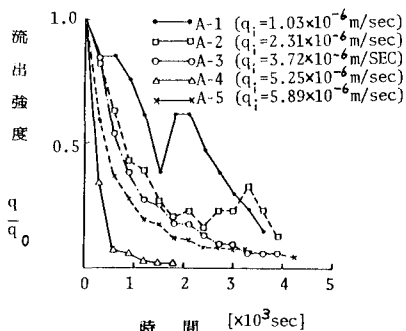


図-3 ケースAの減衰部

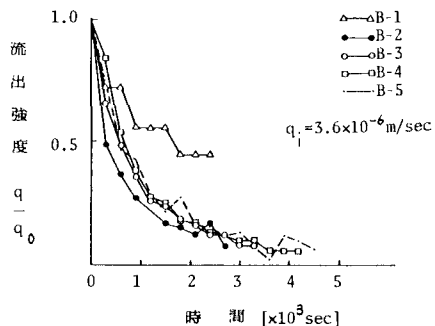


図-4 ケースBの減衰部

含水率によって変化するものと考えられるが、プロットされた点の実験範囲内では、流入強度に大きく依存している。また図-6はケースCの実験結果および自然積雪における表面融雪量と浸透融雪量の観測結果をもとに、ピーク伝播速度とピーク流入強度の関係をプロットしたものである。自然積雪の場合、観測精度の関係でばらつきが大きく、積雪サンプルの場合は実験例は少ないが、両者とも同様な関係があるように思われる。

(4) フラックスの伝播速度と流入強度の関係および固有透水係数 図-7はケースCの実験結果から求められたフラックスの伝播速度と流入強度の関係を示したものであるが、図中の一点鎖線は式(3)の指数nを3と仮定した時の回帰直線である。いま式(3)においてn=3と仮定し、これと図-7の対応から固有透水係数を推定すると、約 $19.5 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ および $17.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ が得られた。

(5) 浸透流出の推定と実測値の比較 図-8, 9はColbeckのモデルにおいてn=3とし、固有透水係数をケースCの実験の平均値 $k = 18.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ を用いて浸透流出の推定を行なったものである。なおこの際積雪サンプルの初期含水率を含水率の測定精度を考慮し、残留飽和度 $S_i$ に対応して一様であると仮定した。また浸潤前線の進行速度( $d\xi/dt$ )は次式で推定した。

$$d\xi/dt = (u_+ - u_-) / (\theta_+ - \theta_-) \quad (4)$$

ここで、 $u_-$ ,  $\theta_-$  はそれぞれ先行するフラックスおよびそれに対応する体積含水率であり、同様に $u_+$ ,  $\theta_+$  はそれぞれ後続のフラックスおよび対応する体積含水率である。実測値と計算値を比較すると、初期含水率仮定値の不適當等のため、流出の立ち上がりが余り一致していないが、表-1は立ち上がり時刻の推定値と実測値を示すものである。これに対し、減衰部は比較的良好に一致している。

最後に、式(2)の指数nについては、図-7に示すように式(3)の関係を利用し、ケースCの実験結果より推定されたnはほぼ3であった。一方、ケースAおよびBの実験結果をもとにDenothらの方法によって推定されたnはばらつきがあり、その信頼度に多少の疑問が残るもののその平均値は約3.1という結果が得られた。

表-1 立ち上がり時刻の推定値と実測値

ケース	A-1	A-2	A-3	A-5	B-3	B-5	C-2	C-3
推定値(sec)	2700	1930	1710	1180	1520	1600	3420	2500
実測値(sec)	4800	2400	1800	600	1800	1800	2400	2100

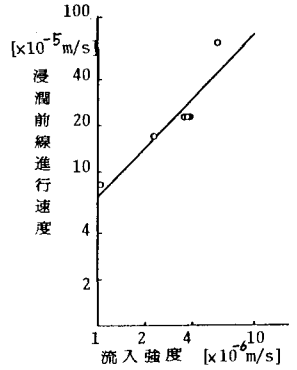


図-5 浸潤前線進行速度

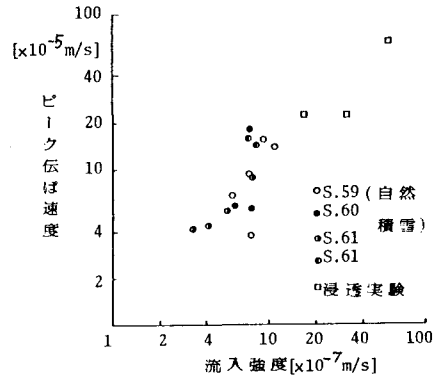


図-6 ピーク伝ば速度と流入強度

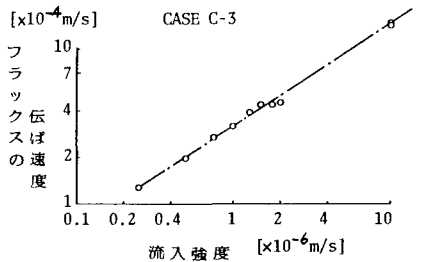


図-7 フラックスの伝ば速度と流入強度

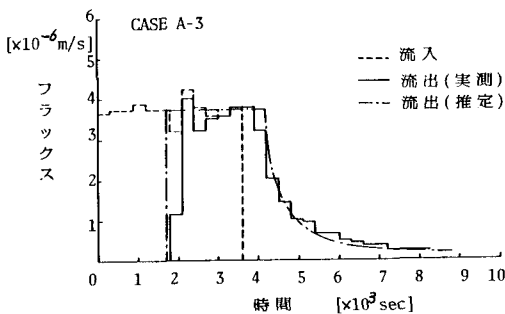


図-8 流出強度の推定値と実測値

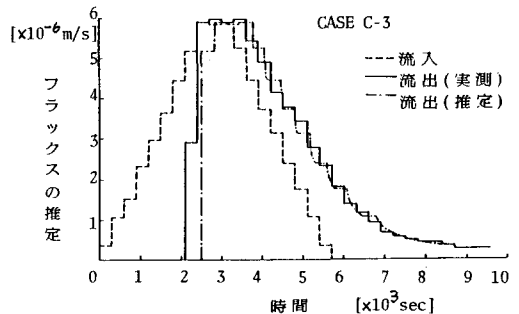


図-9 流出強度の推定値と実測値

[参考文献]

- 1) Colbeck, S.C.: International Symposia on the Role of Snow and Ice Hydrology, 1972.
- 2) 河原, 他: 土木学会年次学術講演会講演概要集, 1983.
- 3) A. Denoth, et al: Proceeding of a Melting of Snowcover Runoff, 1978.